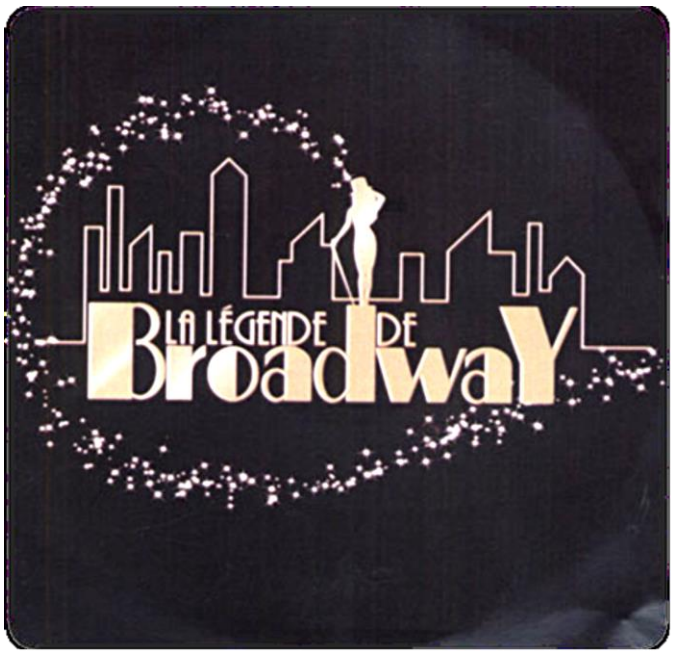


Avant de vous engager comme soliste dans la dernière comédie musicale de Broadway, il faut prouver que vous chantez juste et que vous avez une belle voix.

Pour cela une seule solution : ***l'analyse spectrale de votre voix !***

La question du jour est donc :

Chantez-vous juste ?

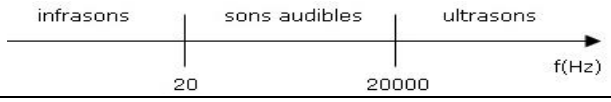
Le son de votre voix est-il pur ?

L'acoustique musicale

Objectifs : *- Associer un modèle à un phénomène.*
- Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical, pur ou complexe, et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.

Document 1 : Hauteur d'un son

La hauteur d'un son est une sensation physiologique. Elle désigne la fréquence, en Hertz (Hz), d'un son. Un son est grave si sa fréquence est faible ; il est aigu si sa fréquence est élevée.



Document 2 : L'analyse spectrale d'un son

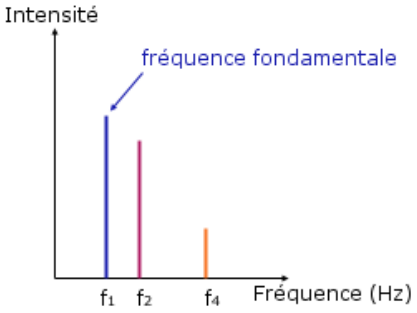
Un son est une onde mécanique périodique.

Le mathématicien Joseph Fourier (1768 – 1830) a montré qu'un signal périodique de fréquence f_1 peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux appelés harmoniques dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale f_1.

Soit $f_n = n \times f_1$ $(n \in \mathbb{N}^*)$

L'ensemble de ses fréquences constitue le spectre d'un son. L'analyse spectrale est réalisée par un logiciel spécialisé (Regressi ou Audacity) après un enregistrement.

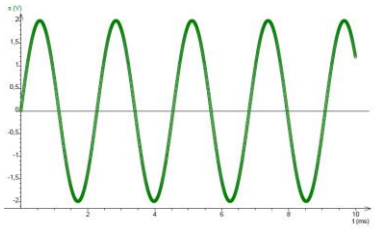
Spectre d'un son



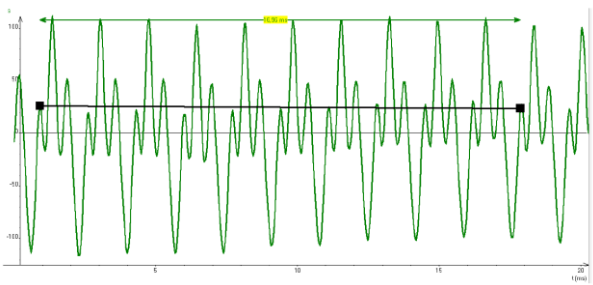
La fréquence du 1er pic correspond à la fréquence du **fondamental** autrement dit à la fréquence de la note jouée. Les autres pics sont appelés **harmoniques**.

Document 3 : Son pur et son complexe

Un son pur est un son dont le signal est sinusoïdal. Son spectre en fréquence ne présente qu'un seul pic, celui du fondamental.



Cependant, la plupart des sons, tels que ceux produits par les instruments de musique jouant qu'une seule note sont bien périodiques mais pas sinusoïdaux.



On parle alors de sons complexes. Leur spectre en fréquence présente plusieurs pics.

Document 4 : Le timbre d'un son

Le *timbre* d'un son est en quelques sortes la « couleur » propre de ce son. C'est lui qui nous permet, physiologiquement, de faire la différence entre deux instruments jouant la même note. Le timbre d'un son est la propriété liée à cette différence. Il est lié à sa composition spectrale (présence, amplitude et durée des harmoniques).

Le *timbre* d'un son (et donc le nombre et l'amplitude des harmoniques) dépend entre autre de l'attaque du son.

Document 5 : La gamme tempérée

Le tableau ci-dessous nous indique la valeur des fréquences de chaque note jouée pour plusieurs octaves.

	-1	*0*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Do	16,35	32,7	65,4	130,8	262	523	1 047	2 093
Do#	17,3	34,6	69,3	138,6	277	554	1 109	2 217
Ré	18,35	36,7	73,4	146,8	294	587	1 175	2 349
Ré# / Mi♭	19,45	38,9	77,8	155,6	311	622	1 245	2 489
Mi	20,6	41,2	82,4	164,8	330	659	1 319	2 637
Fa	21,8	43,7	87,3	174,6	349	698	1 397	2 794
Fa#	23,1	46,2	92,5	185	370	740	1 480	2 960
Sol	24,5	49	98	196,0	392	784	1 568	3 136
Sol# / La♭	26	51,9	103,8	207,7	415	831	1 661	3 322
La	27,5	55	110,0	220	440	880	1 760	3 520
La# / Si♭	29,1	58,3	116,5	233	466	932	1 865	3 729
Si	30,9	61,7	123,5	247	494	988	1 976	3 951

I. Etude du son émis par un diapason

On dispose d'un fichier (diapason) contenant le son émis par un diapason. Vous pouvez également enregistrer directement le son émis par le diapason.

1. S'agit-il d'un son pur ou d'un son complexe ? Justifier de deux façons.
2. Déterminer la hauteur du son émis par le diapason et déterminer la note jouée.

II. Chantez-vous juste ?

En vous servant de la note jouée par le diapason, enregistrez votre voix.

Le son de votre voix est-il pur ? Chantez-vous juste ? Justifier.

III. Deux notes

On dispose de deux fichiers correspondant aux enregistrements de deux notes (NOTE1 & NOTE2).

1. Les deux notes jouées sont-elles identiques ? Si oui, à quelle note correspondent-elles ?
2. Quelles sont les différences entre les deux notes jouées ? Comment appelle-t-on cette différence ?

IV. Une gamme

A l'aide du logiciel Regavi ou du logiciel Audacity, enregistrer une gamme avec l'instrument de votre choix. ***On tâchera de laisser un petit blanc entre chaque note.*** Si vous n'êtes pas musicien, vous disposez du fichier " gamme flûte-5 " ou " gamme_son ".

On pensera à bien sélectionner la note jouée et non pas l'ensemble des notes jouées.

1. Compléter le tableau ci-dessous.

Notes	**Do**	**Ré**	**Mi**	**Fa**	**Sol**	**La**	**Si**	**Do**
Fréquence (Hz)								

2. Que peut-on dire de la fréquence du Do grave et de celle du Do aigu ?

MODE D'EMPLOI DE L'ENREGISTREMENT & DE SON L'EXPLOITATION

Avec le magnétophone

- Dans le menu **démarrer → Tous les programmes → Accessoires → Divertissement**, ouvrir **Magnétophone**.
- Vérifier que votre microphone est bien relié à l'ordinateur.
- S'entraîner à chanter le « la » de façon régulière et assez fort (bien tenir la note), quand vous êtes prêt …
- Enregistrer par un clic sur le **bouton** votre « la » puis un deuxième clic pour terminer l'enregistrement.
- Enregistrer (**Fichier → Enregistrer sous …**) alors votre bande-son sur le bureau en précisant le *nom du fichier*.

Sous Régavi

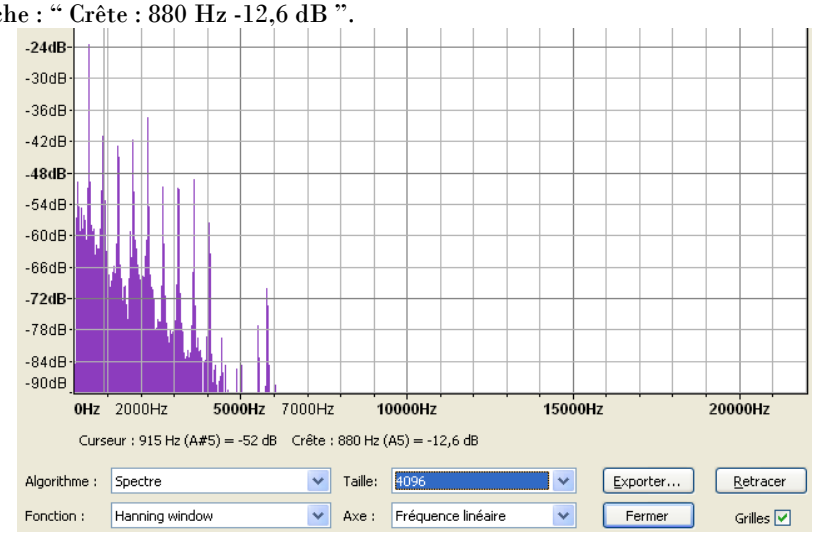
- Ouvrir, sur le bureau, le logiciel **Regavi** et sélectionner **Lecture d'un fichier.WAV**.
- Ouvrir le fichier souhaité (soit votre bande-son placé sur le bureau, soit les bandes-sons préenregistrées se trouvant dans **Poste de travail → docs sur (I :) → public → Physique Chimie → son pour TP acoustique**).
- Sélectionner une partie du signal sonore obtenu à l'aide des curseurs bleu turquoise (environ 100 ms) et **sauver sous Regressi** avec comme **commentaire** « *la* chanté par ***votre nom*** ».
- Observer l'allure de la courbe *s(t)* obtenue puis réaliser l'étude spectrale de votre voix grâce au logiciel.
- Dans le **mode spectre** apparaît le résultat de l'analyse de Fourier du signal sonore c'est-à-dire l'ensemble des fréquences composant le son. L'abscisse du premier pic déterminée à l'aide du réticule (onglet curseur), donne la hauteur de la note.

Sous Audacity

- Cliquez sur le " rond rouge " pour enregistrer et le " carré orange " pour arrêter l'enregistrement.

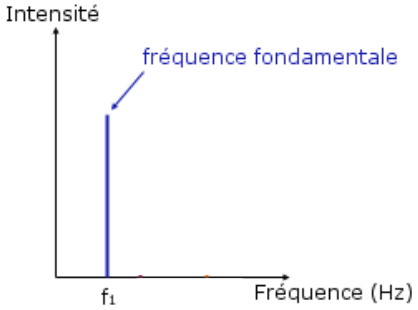
Début de la plage	Lecture	Enregis--trement	Pause	Stop	Fin de la plage

- Pour sélectionner une partie de la bande son, utiliser l'icône : (surligne en gris foncé la partie sélectionnée)
- Pour réaliser le spectre du son en fréquence, choisir : " Analyse " puis " tracer le spectre… " puis dans la partie " taille ", choisir " 4 096 ". *(cf ci-dessous)*
- Plusieurs pics apparaissent. Pour connaître la valeur de la fréquence correspondante, placer votre souris à proximité puis, en bas de la fenêtre s'affiche : " Crête : 880 Hz -12,6 dB ".



Compte-rendu sur l'acoustique musicale

I. Etude du son émis par un diapason.



1. Le signal correspondant au son émis par le diapason est sinusoïdal. Le son est donc pur d'après le *doc. 3*.
Le spectre en fréquence confirme la pureté du son en ne présentant qu'un seul pic.

2. D'après le spectre en fréquence, le pic se trouve à $f_1 = 440$ Hz.
D'après le signal sinusoïdal, en mesurant sur plusieurs périodes T et en calculant l'inverse, on retrouve $f = 440$ Hz. Il s'agit du la_3 . (*On parle aussi de la hauteur du son.*)

II. Chantez-vous juste ?

En général, le son émis par une voix n'est pas pur puisque le signal correspondant n'est pas sinusoïdal et, par conséquence, le spectre en fréquence présente plusieurs harmoniques. Le son est donc complexe.

Pour savoir si vous chantez juste, il vous suffit de déterminer la fréquence du fondamental sur le spectre en fréquence de votre voix et comparer ce résultat à la fréquence du la_3 …

III. Deux notes.

1. Les deux notes présentent, au niveau du spectre en fréquence, un fondamental à la même fréquence $f = 162$ Hz. Il s'agit d'un Mi_2.

2. Cependant, on entend ces deux notes de façon différentes, elles ne présentent donc pas le même timbre (*en musique, on dit qu'elles ne possèdent pas la même couleur*).
Au niveau du spectre en fréquence, on remarque que les harmoniques de rang n ne présentent pas la même amplitude relative et ne sortent pas forcément aux mêmes fréquences d'où une sensibilité différente perçue par notre oreille pour ces deux sons.

IV. Une gamme.

1.

Notes	**Do**	**Ré**	**Mi**	**Fa**	**Sol**	**La**	**Si**	**Do**
Fréquence (Hz)	262	294	990	349	392	440	194	523

2. $f_{do\ aigu} / f_{do\ grave} = 2$